Streuungsmessungen an kosmischen Ultrastrahlen

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von

Wolfgang Heidecke
aus Halberstadt

Universitätsverlag von Robert Noske in Borna-Leipzig
1931

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Dekan: Professor Dr. H. Geiger
Referent: Professor Dr. H. Geiger

Tag der mündlichen Prüfung: 19. November 1931

Inhalt.

		Seite
§ 1.	Einleitung	1
§ 2.	Allgemeines über Registrierung von Koinzidenzen	2
§ 3.	Registrierung der Ultraelektronen	4
§ 4.	Bau und Arbeitsweise der benutzten Zählrohre	6
§ 5.	Quantitatives Arbeiten des Zählrohres	6
§ 6.	Prüfung der Apparatur durch Absorptions- und Richtungsmessungen an den Ultraelektronen	9
§ 7.	Streuungsmessungen an den Ultraelektronen	12
§ 8.	Zusammenfassung	20

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548004_0108

§ 1.

Einleitung.

Schon in ihren ersten Arbeiten über das Zählrohr wiesen Geiger und Müller[1]) darauf hin, daß dieses zum Nachweis der von Heß entdeckten kosmischen Ultrastrahlung in hohem Maße geeignet sei. Eingehende Verwendung auf diesem Gebiete fand das Zählrohr erstmalig in der Arbeit von Bothe und Kolhörster[2]), die durch den Nachweis der Koinzidenzen das Vorhandensein von Elektronen extrem hoher Energie in der Ultrastrahlung erwiesen. Diese Versuche wurden durch Beibringung von großem experimentellen Material durch Rossi[3]) wesentlich erweitert. Sein Ziel war es, durch Messungen ähnlicher Art zu untersuchen, ob die gesamte Ultrastrahlung eine Korpuskularstrahlung sei. Eine endgültige Entscheidung konnten jedoch diese Versuche nicht erbringen. Schließlich hat auch Mott-Smith[4]) durch Koinzidenzversuche die magnetische Ablenkung der Ultraelektronen nachzuweisen versucht, allerdings bisher ohne Erfolg.

Durch die im folgenden beschriebenen Messungen sollte festgestellt werden, ob die Ultraelektronen in Materie um einen meßbaren Winkel gestreut werden. Auch hierzu wurde eine Methode benutzt, bei der die Koinzidenzen in zwei bzw. drei Zählrohren beobachtet wurden.

---

[1]) H. Geiger und W. Müller, Phys. ZS. **29**, 839 (1928); **30**, 489 (1929).

[2]) W. Bothe und W. Kolhörster, ZS. f. Phys. **56**, 751 (1929).

[3]) B. Rossi, ZS. f. Phys. **68**, 64 (1931).

[4]) L. M. Mott-Smith, Phys. Rev. **35**, 1125 (1930).

§ 2.

Allgemeines über Registrierung von Koinzidenzen.

Wendet man die Elektronenzählmethoden auf Probleme der kosmischen Ultrastrahlung an, so wird es sich oft darum handeln, die in mehreren Zählrohren gleichzeitig auftretenden Ausschläge (Doppel- bzw. Dreifachkoinzidenzen) zeitlich möglichst scharf zu erfassen. Von verschiedenen Seiten sind hierfür brauchbare und einfache Methoden angegeben worden. Vier solche Methoden, die sich grundsätzlich voneinander unterscheiden, sind im folgenden mitgeteilt.

a) Photographische Registrierung. Jedes Zählrohr wird mit einem Fadenelektrometer verbunden, die Ausschläge dieser Instrumente werden auf einem laufenden photographischen Film registriert, der im allgemeinen eine nachträgliche Auswertung der Koinzidenzen auf $^1/_{100}$ sec zuläßt. Diese Methode wurde von Bothe und Geiger[1]) bei ihrer Untersuchung über den Comptoneffekt und von Bothe und Kolhörster[2]) bei ihren Versuchen über die Natur der Ultrastrahlung angewandt. Nachteilig ist hierbei der große Filmverbrauch. So war bei Bothe und Geiger eine Filmgeschwindigkeit von 20 cm/sec erforderlich, um die Doppelausschläge mit der damals erstrebten Genauigkeit von $^1/_{1000}$ sec zu erfassen. Bei Bothe und Kolhörster beträgt die erreichte Genauigkeit $^1/_{100}$ sec bei einer Laufgeschwindigkeit von 1 cm/sec.

b) Registrierung mit Schreibchronographen. Die Ausschläge der Zählrohre werden so verstärkt, daß sie imstande sind, die Schreibhebel eines Chronographen zu betätigen, wie solche in der Astronomie zu Zeitbestimmungen Verwendung finden. Diese Methode ist wie die photographische im Prinzip auf beliebig viele, auf Dreifach-, Vierfach- usw. Koinzidenzen anwendbar. Sie hat

---

[1]) W. Bothe und H. Geiger, ZS. f. Phys. 32, 639 (1925).
[2]) W. Bothe und W. Kolhörster, loc. cit.

vor ihr den Vorzug größerer Billigkeit und Einfachheit, andererseits den Nachteil, daß die Ausschläge zeitlich nicht so scharf erfaßt werden können. Näheres über diese bei den folgenden Untersuchungen angewandte Methode folgt im nächsten Paragraphen.

c) Doppelgittermethode von Bothe[3]). Diese von Bothe angegebene Methode beruht darauf, daß die Stromstöße zweier Zählrohre auf die Gitter einer Doppelgitterröhre wirken, so daß ein in den Anodenkreis der Röhre geschaltetes Meßinstrument nur anspricht, wenn beide Gitter gleichzeitig durch die Stromstöße aufgeladen werden. Rossi[4]), der gleichfalls nach diesem Verfahren gearbeitet hat, gibt an, daß zwei Ausschläge dann bereits getrennt erscheinen und also nicht mehr mit einer Koinzidenz verwechselt werden können, wenn sie in einem Abstande von $^1/_{1000}$ sec aufeinander folgen. Nach seinen Angaben arbeitet diese Methode auch sonst sehr zuverlässig, doch wird es nicht leicht sein, diese Methode auf drei- und noch mehrfache Koinzidenzen anzuwenden.

d) Summationsverfahren. Von verschiedenen Seiten (Curtiss[5]), Tuve[6]), Rossi[7]), Mott-Smith[8]), Kolhörster[9]), de Bruyne und Webster[10]), Hummel[11]) sind Methoden angegeben, die alle darauf hinauslaufen, daß die direkten oder verstärkten Ausschläge addiert werden, wobei das Meßinstrument nur auf die addierten, nicht aber auf die Einzelausschläge anspricht. Eine gewisse Unsicherheit liegt aber hierbei darin, daß nicht alle Ausschläge der einzelnen Zählrohre gleich

---

[3]) W. Bothe, ZS. f. Phys. **59**, 1 (1929).
[4]) B. Rossi, loc. cit.
[5]) L. F. Curtiss, Phys. Rev. **34**, 1391 (1929).
[6]) M. A. Tuve, Phys. Rev. **35**, 651 (1930).
[7]) B. Rossi, Rend. Linc. **11**, 831 (1930).
[8]) L. M. Mott-Smith, loc. cit.
[9]) W. Kolhörster, Naturw. **18**, 567 (1930).
[10]) de Bruyne und Webster, Proc. Cambridge Phil. Soc. **27**, 113 (1931).
[11]) J. N. Hummel, ZS. f. Phys. **70**, 765 (1931).

groß sind. Keine dieser Methoden ist bisher ausführlich in ihrer Anwendung beschrieben worden, vor allem fehlen meist Angaben, inwieweit rasch einander folgende Ausschläge von wahren Koinzidenzen unterschieden werden können.

§ 3.

Registrierung der Ultraelektronen.

Die Ausschläge der Zählrohre Z_1, Z_2, Z_3 wurden mit Hilfe dreier getrennter Verstärkeranlagen V_1, V_2, V_3 (je drei Röhren mit Transformatoren gekoppelt, davon je zwei Schirmgitterröhren)

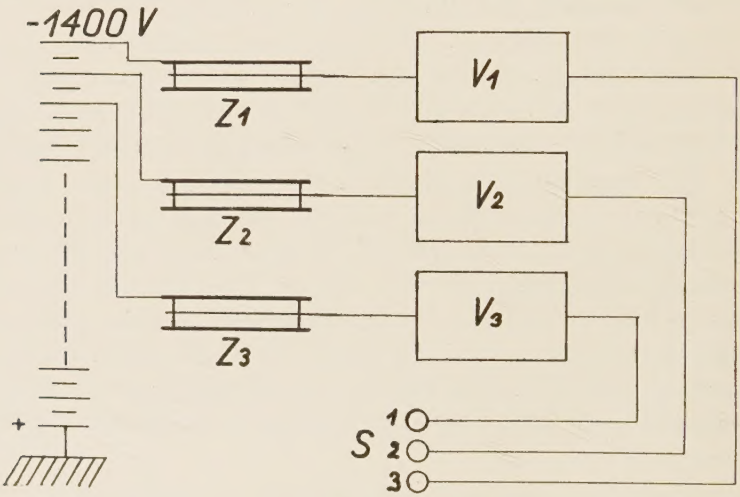

Fig. 1.
Skizze der Apparatur zur Messung der Ultraelektronen.

so weit vergrößert, daß sie die drei Schreibstifte S_1, S_2, S_3 des allein zur Verfügung stehenden Chronographen der Firma Wetzer, Pfronten, scharf betätigen konnten (s. Fig. 1). Durch zweckmäßige Verlegung aller Leitungen und Einbau statischer Schutzwände konnte jede gegenseitige Beeinflussung mit Sicher-

heit ausgeschaltet werden. Diese Voraussetzung für einwandfreies Arbeiten war Gegenstand eingehender und stets wiederholter Untersuchungen.

Bei der normalen Laufgeschwindigkeit des Chronographenstreifen von 1,5 cm/sec konnten Ausschläge, die weniger als $^1/_5$ mm gegeneinander versetzt waren, nicht mehr getrennt werden, so daß das Auflösungsvermögen etwa $^1/_{50}$ sec betrug. Die Breite des Tintenstriches betrug dabei für die verschiedenen Schreibstifte $0{,}6 \pm 0{,}1$ mm, war aber für jede einzelne Feder konstant. Bei der Auswertung wurde der Registrierstreifen unter einem Draht von $^1/_5$ mm Durchmesser hindurchgezogen, dessen Richtung relativ zum Papierstreifen durch künstlich erzeugte Koinzidenzen festgelegt war. Ausschläge, deren Einsatzpunkte vom Draht überdeckt wurden, galten als Koinzidenzen. Wurde derselbe Papierstreifen von verschiedenen Beobachtern ausgezählt, so ergab sich stets eine befriedigende Übereinstimmung.

Wie schon erwähnt, zeichnet sich das Verfahren durch Einfachheit und Billigkeit aus, doch ist zuzugeben, daß mit ihm eine sehr scharfe Erfassung der Koinzidenzen nicht erreichbar ist. Im vorliegenden Fall erscheinen alle Doppelausschläge, soweit ihr Intervall unter $^1/_{50}$ sec liegt, als Koinzidenz. Diese Doppelausschläge sollen im Gegensatz zu den wirklichen Koinzidenzen als zufällige bezeichnet werden. Die Zahl N der so definierten zufälligen Koinzidenzen auf einem Registrierstreifen der Länge L ist gegeben zu

$$N = \frac{2 \cdot s}{L} \cdot n_1 \cdot n_2,$$

wobei s der noch auflösbare Abstand zweier Ausschläge und n_1 und n_2 die Ausschlagszahlen zweier Schreibhebel auf der Länge L bedeuten. Sind drei Schreibhebel im Gange, so erweitert sich die Formel für die zufälligen dreifachen Koinzidenzen zu

$$N_{(123)} = \left(\frac{2 \cdot s}{L}\right)^2 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$$

Im vorliegenden Fall bei einer mittleren Ausschlagszahl von 90 pro Meter Registrierstreifen für ein Zählrohr ist also mit einer Zahl von zufälligen zweifachen Koinzidenzen von etwa 2,9 und von zufälligen dreifachen von 0,1 zu rechnen. Man sieht, wie sehr bei Beobachtung von dreifachen Koinzidenzen die Zahl der zufälligen Koinzidenzen zurücktritt gegenüber der Zahl der wahren Koinzidenzen, deren Zahl ja praktisch ungeändert bleibt. Dies macht das Arbeiten mit dreifachen Koinzidenzen trotz des größeren technischen Aufwandes bedeutend verläßlicher.

§ 4.

Bau und Arbeitsweise der benutzten Zählrohre.

Die benutzten Zählrohre besaßen eine Messingwandung von 0,5 mm Dicke und einen Querschnitt von 3×25 cm². Der Zähldraht wurde sorgfältig gereinigt, dann in der entleuchteten Bunsenflamme mit einer gleichmäßigen Oxydschicht überzogen und anschließend in das Zählrohr gebracht, in dem er durch Hartgummistopfen axial gehalten wurde. Diese Stopfen wurden mit einer Kittmasse vakuumdicht verschlossen.

Bei einem Druck von 4 cm Hg und einer Spannung von etwa 1400 Volt zählten diese so hergestellten Rohre stets befriedigend. Sie besaßen einen Zählbereich von mindestens 100 Volt, d. h. die Ausschlagszahl pro Minute änderte sich nicht, wenn die Zahlspannung beispielsweise von 1350 auf 1450 Volt erhöht wurde. Die für die folgenden Versuche verwandten fünf Zählrohre zeigten unter denselben Bedingungen stets die gleiche Teilchenzahl pro Minute, z. B. in dem später benutzten Eisenpanzer von 10 cm Stärke etwa 80 Teilchen pro Minute (s. § 6 Fig. 2).

§ 5.

Quantitatives Arbeiten des Zählrohres.

Durchsetzt ein schnelles Elektron auf seiner Bahn drei Zählrohre, so sollten bei einwandfreiem Arbeiten alle drei Rohre

gleichzeitig ansprechen. Jedenfalls kann man durch solche Versuche feststellen, ob ein Zählrohr quantitativ arbeitet oder nicht. Diese wichtige Frage ist schon einmal von Geiger und Müller[1]) durch Beobachtung von Doppelkoinzidenzen dahingehend beantwortet worden, daß ein quantitatives Zählen sehr wahrscheinlich ist. Bothe und Kolhörster[2]) konnten das gleiche aus ihren Messungen errechnen. Andererseits glaubt Rossi[3]) auf Grund seiner Versuche, daß nur etwa 70% aller eintretenden Strahlen erfaßt werden, daß aber dieser Prozentsatz für jedes Rohr konstant bleibt.

Die hier benutzte Anordnung entspricht im Prinzip der von Rossi: Zwischen die zwei Zählrohre Z_1 und Z_3 von gleicher Größe wird ein drittes, Z_2, ebenfalls gleich großes, so eingeschoben, daß alle geradlinigen Strahlen, die durch die beiden äußeren gehen, auch dieses dritte durchsetzen müssen.

In Tabelle 1 sind die Doppelkoinzidenzen der beiden äußeren Rohre $N_{(13)}$ und darunter die Zahl der Dreifachkoinzidenzen $N_{(123)}$ eingetragen. Die Versuchsdauer betrug dabei zwei Stunden.

Tabelle 1.

Prüfung eines Zählrohres auf quantitatives Arbeiten.

1	2	3	4
	Zufällige + wahre Koinzidenzen (beobachtet)	Zufällige Koinzidenzen (berechnet)	Wahre Koinzidenzen Spalte 2 bis Spalte 3
Doppelkoinz. $N_{(13)}$	541	316	225
Dreifachkoinz. $N_{(123)}$	245	11	234

Die letzte Spalte der Tabelle zeigt, daß die Zahl der Doppelkoinzidenzen innerhalb der Fehlergrenzen gleich ist der Zahl der

[1]) H. Geiger und W. Müller, loc. cit.
[2]) W. Bothe und W. Kolhörster, loc. cit.
[3]) B. Rossi, Rend. linc. **11**, 478 (1930).

Dreifachkoinzidenzen, woraus hervorgeht, daß jedes Ultraelektron, das durch die beiden äußeren Zählrohre ging, auch im mittleren registriert wurde. Das mittlere Zählrohr sprach also quantitativ auf alle durchgehenden Strahlen an. Auch die später ausgeführten Messungen konnten vielfach so ausgewertet werden, wie es in dem einen speziellen Fall in der Tabelle 1 geschehen ist. Im ganzen ergaben solche Messungen als wahre Koinzidenzzahl $N_{(13)}$ 1718 und für $N_{(123)}$ 1696, sie bestätigen also alle das quantitative Arbeiten des Zählrohres.

Das obige Ergebnis konnte durch künstliche Erhöhung der Einzelausschläge und damit der Zufallskoinzidenzen nicht beeinflußt werden. Diese Erhöhung wurde ebenso wie bei Bothe und Kolhörster[4]) durch Bestrahlung mit Radium erzielt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 2, in der die obere Zeile dieselbe Messung wiedergibt, auf die sich auch Tabelle 1 bezieht.

Tabelle 2.

Unabhängigkeit der wahren Koinzidenzen von der Zahl der Einzelausschläge.

	1	2	3	4	5	6
	Zahl d. Einzelausschl.			$N_{(123)}$ beobachtet	$N_{(123)}$ zufällige berechnet	$N_{(123)}$ wahre
	$N_{(1)}$	$N_{(2)}$	$N_{(3)}$			
ohne Ra	9600	9160	8900	245	11	234
mit Ra	24480	23040	22430	424	176	248

Darunter befinden sich die entsprechenden Zahlen, wenn die Zählrohre mit Radium bestrahlt werden. Trotzdem die Zahlen $N_{(123)}$ beobachtet bzw. berechnet auf das Mehrfache anwachsen, bleibt die Differenz, d. h. die Zahl der wahren Koinzidenzen praktisch unverändert.

[4]) W. Bothe und W. Kolhörster, loc. cit.

§ 6.

Prüfung der Apparatur durch Absorptions- und Richtungsmessungen an den Ultraelektronen.

a) Absorptionsmessungen. Um die Brauchbarkeit der Apparatur zu erweisen, und um über die Größe der Absorption bei dünneren Schichten als die bisher von anderen Autoren benutzten Aufschluß zu erhalten, wurden Absorptionsversuche entsprechend

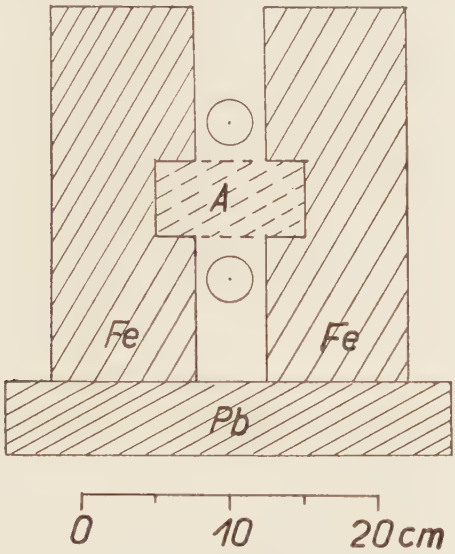

Fig. 2.
Aufbau für die Absorptionsmessungen.

denen von Bothe und Kolhörster[1]) ausgeführt. An Stelle des von diesen Autoren benutzten Goldblockes von 4,1 cm Dicke traten hier Aluminiumplatten von drei verschiedenen Dicken (2, 5, 9 cm) und eine Bleiplatte von 5 cm Dicke. Der äußere Aufbau entsprach in allen wesentlichen Punkten dem von Bothe und Kolhörster[1]) (s. Fig. 2). Zwischen die beiden Zählrohre

[1]) W. Bothe und W. Kolhörster, loc. cit.

wurden nacheinander die Platten (durchbrochen schraffiert gezeichnet) eingeführt. Durch den im Mittel 10 cm starken Eisenpanzer wurden die Umgebungsstrahlen im wesentlichen ausgeschaltet.

Die Tabelle 3 gibt die Ergebnisse. Spalte 1 gibt Art und Dicke der benutzten Metallplatten. Spalte 2 gibt den dichteäquivalenten Wasserwert der Absorberschichten. Spalte 3 gibt ein Bild von der Abnahme der Ausschläge im unteren Zählrohr bei Einschaltung der verschiedenen Absorberschichten. Dabei ist die Zahl der Ausschläge ohne Absorber willkürlich gleich 100 gesetzt. Spalte 4 enthält die Zahl der wahren Koinzidenzen pro Minute; hierbei ist von der Zahl der beobachteten Koinzidenzen die Zahl der nach der Gleichung auf S. 5 zu erwartenden zufälligen Koinzidenzen abgezogen, ebenso wie bei allen späteren Angaben. Spalte 5 gibt die Zahl der mit jeder Platte überhaupt gezählten wahren Koinzidenzen und ermöglicht so ein Urteil über die erreichte Genauigkeit. Schließlich ist in Spalte 6 der aus den angegebenen Werten zu errechnende Massenabsorptionskoeffizient pro Meter Wasser angegeben.

Tabelle 3.

Abnahme der Koinzidenzen durch verschiedene Absorberschichten.

1	2	3	4	5	6
Absorber	Äquivalente Dicke	Ausschläge min. im unt. Zähler	Koinz. min.	Gesamtzahl der beobacht. Koinzidenzen	μ/ϱ
0	0	100	3,9	1800	—
2,1 cm Al	5,5 cm	91	3,7	212	0,92
5,0	13,5	80	3,5	301	0,80
9,0	24,5		$3,3_5$	442	0,61
5,0 cm Pb	56,0	68	3,2	939	0,43

Wenn auch die erreichte Genauigkeit nicht groß ist, so zeigt doch der Abfall der Zahlen von Spalte 4, daß das Absorptionsgesetz keineswegs exponentiell ist. Dies wird an den berechneten

Massenabsorptionskoeffizienten besonders deutlich; der von Bothe und Kolhörster[2]) angegebene Wert von $\mu/\varrho = 0{,}35$ bei einer Absorberschicht von 4,1 cm Gold gleich 80 cm Wasser würde sich hier gut einfügen. Auf Grund von sehr genauen Messungen wiesen besonders Hoffmann[3]) und Steinke[4]) darauf hin, daß dieser Massenabsorptionskoeffizient mit zunehmender Dicke und Dichte der Absorber sich ändert, und zwar hierbei systematisch kleiner wird. Der Gang dieser Änderung ist auch in den Zahlen der Spalte 6 der Tabelle 3 zu erkennen.

b) Richtungsmessungen. Die zweite Meßreihe sollte einen Überblick über die Abhängigkeit der Ultrastrahlintensität von der

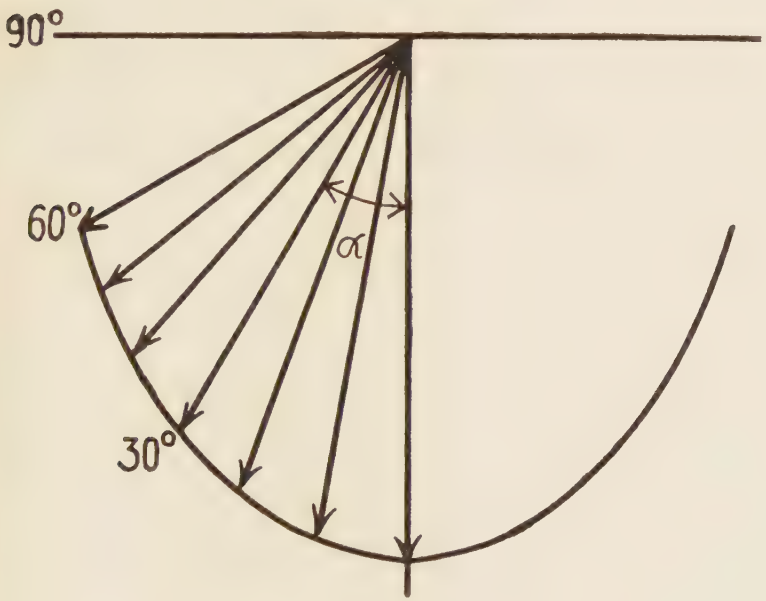

Fig. 3.
Richtungsverteilung der Ultraelektronen.

[2]) W. Bothe und W. Kolhörster, loc. cit.
[3]) G. Hoffmann, Ann. d. Phys. **82**, 813 (1927).
[4]) E. Steinke, ZS. f. Phys. **42**, 570 (1927).

Einfallsrichtung erbringen. Es wurde hierzu von zwei zuerst senkrecht untereinander stehenden Zählrohren das untere in der Horizontalebene parallel zu sich verschoben. In der Fig. 3 ist die Intensität in Abhängigkeit vom Winkel α, den die Verbindungsebene der Zählrohrachsen mit der Vertikalen bildet, in Polarkoordinaten aufgezeichnet. Die Werte für die kleineren Winkel konnten auch aus späteren Messungen übernommen werden. Alle Werte sind auf gleiche ausgenutzte Raumwinkel umgerechnet, die Gesamtzahl der für die Kurve gezählten Koinzidenzen beträgt über 3000.

Die Kurve zeigt eine Bevorzugung der senkrechten Inzidenz. Die Angabe von Kolhörster[5]), daß die senkrecht einfallenden Strahlen die horizontal einfallenden um das Doppelte übertreffen, ist mit der angegebenen Kurve gut verträglich. Auch die Verteilung der 32 von Skobelzyn[6]) beobachteten Nebelbahnen in der Wilsonkammer, die von magnetisch nicht ablenkbaren Strahlen herrührten, ist mit obigen Messungen in Übereinstimmung.

§ 7.

Streuungsmessungen an den Ultraelektronen[1]).

Die folgenden Messungen sollten sich mit der Streuung der Ultraelektronen in Materie befassen. Um hierfür eine möglichst genaue Winkeldefinition zu erzielen, war es nötig, die Zählrohre möglichst weit voneinander entfernt aufzustellen. Hierbei durfte allerdings die Zahl der Koinzidenzen nicht unter einen Grenzwert von etwa 1 pro Minute sinken. Es wurde daher zunächst die Zahl der Koinzidenzen in Abhängigkeit vom Zählrohrabstand bestimmt.

---

[5]) W. Kolhörster, ZS. f. Geophys. **7**, 199 (1931).

[6]) D. Skobelzyn, ZS. f. Phys. **54**, 686 (1929).

[1]) Über das Ergebnis dieses Paragraphen hat Herr Professor Geiger bereits auf der „Discussion on Ultra-Penetrating Rays" der Royal Society of London am 14. Mai 1931 berichtet. Siehe das „Opening Paper" Nature **127**, 785 (1931) und Proc. Roy. Soc. Serie A. **138**, 331 (1931).

In Spalte 1 der Tabelle 4 ist der Abstand der Zählrohrachsen, in Spalte 2 der Raumwinkel eingetragen, unter dem die Zählrohre von dem symmetrisch in der Mitte zwischen ihnen liegenden Punkte aus gesehen werden. Spalte 3 enthält die Koinzidenzzahl pro Stunde, Spalte 4 dieselbe Koinzidenzzahl bezogen auf die Raumwinkeleinheit. Man sieht, daß die Zahlen dieser Spalte praktisch konstant bleiben, wie es aus der geringen Abhängigkeit der Intensität vom Einfallswinkel (s. Fig. 3) folgen muß.

Tabelle 4.

Abhängigkeit der Koinzidenzzahl vom Raumwinkel.

1	2	3	4	5
Abstand in cm	Raumwinkel	Koinzidenzzahl pro Stunde	Koinzidenzzahl pro Stunde und Raumw.-Einh.	Gesamtzahl der gez. Koinzidenzen
6,0	0,065	354	$5{,}5 \cdot 10^3$	2000
10,5	36	198	5,5	791
12,0	30	168	5,6	685
16 5	20	114	5,7	572
21,0	12	64	5,4	890

Nimmt man nur die obere Hemisphäre als strahlend an, so ergibt sich aus Spalte 4 für die gesamte aus dieser Halbkugel in das Zählrohr pro Stunde gelangende Teilchenzahl im Mittel etwa 2800. Daraus ergibt sich bei einem Zählrohrquerschnitt von 75 cm^2 die auf 1 cm^2 freier Oberfläche einfallende Teilchenzahl zu 37 pro Stunde in guter Übereinstimmung mit dem Wert von Bothe und Kolhörster[2]) sowie Tuwim[3]), die 36 angeben.

Für die eigentlichen Streuungsmessungen wurde der Aufbau von Fig. 4 benutzt. Die Zählrohre Z_1, Z_2, Z_3, die zur Ausblendung

[2]) W. Bothe und W. Kolhörster, loc. cit.

[3]) L. Tuwim, Berl. Berichte 91, 1931.

eines möglichst parallelen Strahlenbündels dienten, waren in einem Bleipanzer von 5 cm Stärke untergebracht. Hierdurch sollte wieder die Zahl der Einzelausschläge und damit die Zahl der zufälligen Koinzidenzen möglichst herabgedrückt werden. Nach oben jedoch war der Panzer offen und ließ so das zur Messung benutzte Strahlenbündel ohne Vorfilterung einfallen.

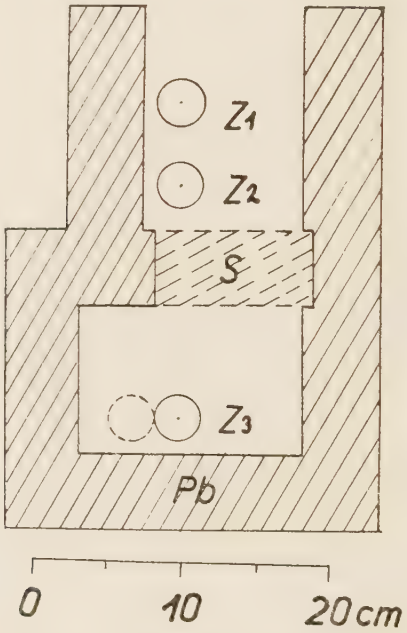

Fig. 4.
Anordnung für die Streuungsmessungen.

Der Achsenabstand der Rohre Z_1 und Z_3 war 21 cm. Der Streustrahler S konnte zwischen die Rohre Z_2 und Z_3 derart eingeschoben werden, daß seine linke Fläche mit der Tangentialebene an die senkrecht untereinander stehenden Zählrohre zusammenfiel und gleichzeitig die äußere Panzerwandung berührte. Nur mit einer solchen unsymmetrischen Anordnung läßt sich er-

warten, daß der Verlust an gestreuten Teilchen in Z_3 nicht wieder kompensiert wird durch eine entsprechende Zahl von dem Zählrohr Z_3 zugestreuten Strahlen. Während der Versuche blieben die Zählrohre Z_1 und Z_2 immer in derselben Lage, während Z_3 in der Horizontalebene parallel zu sich selbst seitlich verschoben wurde.

Im einzelnen ist die gegenseitige Stellung der Zählrohre bei den verschiedenen Meßgruppen aus Fig. 5 ersichtlich. Bei Stellung I war durch die Lage der Zählrohre ein bestimmter Raumwinkel abgegrenzt und die Zahl der innerhalb dieses Raumwinkels

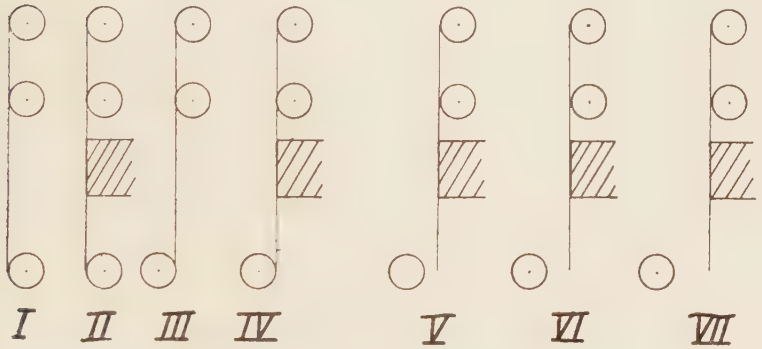

Fig. 5.
Anordnungen bei den Streuungsmessungen.

auftretenden Strahlen durch Abzählung der Dreifachkoinzidenzen bestimmt. Danach wurde zur Stellung II übergegangen, bei der zwischen die Zählrohre Z_2 und Z_3 der Bleistreustrahler von 5 cm Dicke eingeschoben wurde. Tabelle 5 zeigt, daß die Koinzidenzzahl durch das Einschalten des Bleiklotzes um 27% herabgedrückt wird. Ähnliche Absorptionsmessungen sind schon in Tabelle 3 angegeben; Spalte 4 gibt dort eine Reduktion der zweifachen Koinzidenzen bei Einschaltung von 5 cm Blei um 18%. Dieser Unterschied ist, wie am Schluß dieses Paragraphen auseinandergesetzt wird, durch die verschiedene Versuchsanordnung bedingt.

Durch Vergleich der Anzahl der Koinzidenzen in Stellung III und IV sollte festgestellt werden, ob hier seitlich aus dem Primärbündel herausgestreute Strahlen wieder aufzufinden sind. Das Zählrohr Z_3 war dabei parallel zu seiner Längsachse um 3 cm verschoben. Auch in Stellung III wurden noch dreifache Koinzidenzen erhalten, da schräg einfallende Strahlen alle drei Zählrohre durchsetzen konnten. Ihre Zahl ist geringer als in Stellung I, hauptsächlich deshalb, weil Ultrastrahlen die Zählrohre Z_1 und Z_3 durchsetzen konnten, ohne durch Z_2 hindurchzugehen, was in Stellung I nicht möglich war. Außerdem wirkt die Richtungsverteilung der Ultrastrahlen und die Absorption in dem Blei der Führung im gleichen Sinne. Der Abfall von 100 auf 33 (s. Tabelle 5 Spalte 3) entspricht der Intensitätsabnahme, die man aus geometrischen Bedingungen ableiten kann, und deckt sich auch mit neueren Angaben von Mott-Smith[4]) bei seinen Versuchen über die magnetische Ablenkung der Ultrastrahlen. Von entscheidender Bedeutung ist nun, daß die Zahl der Koinzidenzen wieder anwuchs, sobald der Bleistreustrahler in seine alte Stellung ge-

Tabelle 5.

Streuung der Ultrastrahlen in 5 cm Blei.

1	2	3	4	5
Stellung	beobachtete Koinzidenzzahl pro Stunde	relative Koinzidenzzahl pro Stunde	Gesamtzahl d. beobachteten Koinzidenzen	Dauer der Zählung in Stunden
I ohne Pb	64	100	890	14
II mit Pb	47	73	647	14
III ohne Pb	21	33	525	25
IV mit Pb	29	45	602	21
V ohne Pb	9	14	214	24
mit Pb	11	17	266	24
VI ohne Pb	7	11	65	9
mit Pb	6,5	10,5	60	9
VII ohne Pb	5	8	47	9
mit Pb	5,5	8,5	50	9

[4]) L. M. Mott-Smith, loc. cit.

bracht wurde, und zwar stieg die Koinzidenzzahl von 21 auf 29 pro Stunde. Dieses Ergebnis ist durch die Zählung von 1127 Koinzidenzen allein an Blei erhärtet.

Das Zählrohr Z_3 wurde dann noch um weitere 1 bzw. 2 bzw. 3 cm (Stellung V, VI, VII) seitlich verschoben, wobei ebenfalls nach zusätzlichen Koinzidenzen gesucht wurde. In allen Stellungen wurde wie vorher mit und ohne Blei gezählt.

Über die Größe des Streuwinkels gewinnt man einen Überblick aus Tabelle 6. Die Spalten 1 und 2 geben die Stellung bzw. Verschiebung des Zählrohres Z_3 an. Die Spalte 3 macht ersichtlich, wie viele Teilchen mit Bleistreustrahler in den einzelnen Stellungen mehr gezählt wurden als ohne ihn, also durch ihn in Richtung auf Z_3 abgelenkt werden. Beispielsweise ist die Zahl 12 aus der Differenz der bereits in Tabelle 5 gegebenen Zählungen mit und ohne Blei entstanden, der statistische Fehler beträgt hierbei $\pm 20\%$.

Tabelle 6.

Abhängigkeit der Streuintensität von der seitlichen Verschiebung des Zählrohres Z_3.

1	2	3
Stellung	Verschiebung	Streuintensität
IV	3,0 cm	$45 - 33 = 12 \pm 2{,}4$
V	4,0	$17 - 14 = 3 \pm 1{,}2$
VI	5,0	$10{,}5 - 11 = 0 \pm 1{,}1$
VII	6,0	$8{,}5 - 8 = 0 \pm 1{,}5$

Da es mit der zur Verfügung stehenden Apparatur nicht möglich war, die geometrischen Bedingungen des Versuches schärfer zu fassen, konnte auch der mittlere Streuwinkel nur größenordnungsmäßig aus den Messungen abgeleitet werden. Man ersieht jedoch aus den Zahlen der Tabelle 6 und den geometrischen Definitionen, daß die Ultraelektronen auch in einer Bleischicht von 5 cm Dicke im Mittel höchstens um einige Winkel-

grade gestreut werden. Ein graphisches Verfahren, bei dem allerdings eine Reihe von vereinfachenden Annahmen gemacht werden mußten, führte auf einen mittleren Streuwinkel von etwa 5°.

Zur Sicherung der an Blei gewonnenen Resultate wurden weitere Messungen angestellt, bei denen ein Aluminiumklotz von 9 cm Dicke an die Stelle des Bleiklotzes von 5 cm Dicke trat. Die Messungen wurden analog den Bleimessungen ausgeführt, können aber nicht denselben Grad von Genauigkeit beanspruchen, da die Streuung im Aluminium geringer ist. Aus diesem Grunde konnten nicht so viele Koinzidenzen, die von gestreuten Ultraelektronen herrühren, gezählt werden. Die Tabelle 7 enthält die Ergebnisse.

Tabelle 7.

Streuung der Ultrastrahlen in 9 cm Aluminium.

1	2	3	4	5
Stellung	beobachtete Koinzidenzzahl pro Stunde	relative Koinzidenzzahl pro Stunde	Gesamtzahl d. beobachteten Koinzidenzen	Dauer der Zählung in Stunden
*) I ohne Al	64	100	890	14
II mit Al	54	84	433	8
*) III ohne Al	21	33	525	25
IV mit Al	26	40	421	16

*) Die in dieser Zeile angegebenen Zahlen sind der Tab. 5 entnommen.

In einer zur Tabelle 6 analogen Weise berechnet sich die Streuintensität zu $40 - 33 = 7$, ist also trotz größerer Dicke des Streustrahlers erheblich geringer als beim Blei. Doch ist außer Zweifel, daß auch im Aluminium eine meßbare Streuung auftritt. Auf gleiche Dicke bezogen beträgt die Zahl der im Aluminium gestreuten Strahlen noch nicht $^1/_3$ der in Blei gestreuten, auf gleiche Masse bezogen ist die Zahl fast gleich der im Blei.

Es besteht natürlich auch die Möglichkeit, daß bei dem Durchgang der Ultraelektronen durch die Streustrahler in diesen neue Sekundärstrahlen, z. B. zusätzliche Elektronen ausgelöst werden. Man müßte dann mit einer Anordnung wie Fig. 6 drei-

fache Koinzidenzen erwarten, wenn auch vielleicht in geringer Zahl. Ein über vier Stunden ausgedehnter Versuch verlief aber vollkommen negativ, so daß die Deutung des beobachteten Effektes durch Sekundärstrahlen wenig Wahrscheinlichkeit besitzt.

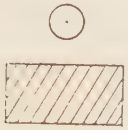

Fig. 6.

Da an den Ultrastrahlen eine Streuung nachweisbar ist, werden je nach der Anordnung mehr oder weniger gestreute Strahlen bei den Absorptionsmessungen mitgemessen werden. Die „Absorption" wird also um so größer erscheinen, je schärfer die Strahlenbündel definiert sind. Dies erklärt auch, daß in § 6 bei den Absorptionsmessungen an zweifachen Koinzidenzen 5 cm Blei nur 18% absorbieren konnten, bei den eben angegebenen Messungen jedoch 27%, da hier durch den größeren Zählrohrabstand das Strahlenbündel viel schärfer definiert war. Bei einer weiteren Messung standen die Zählrohre Z_1 und Z_3 voneinander 16 cm entfernt, aus einer Zählung von über 1000 Koinzidenzen ergab sich hierbei eine Absorption von 22% in 5 cm Blei. Der Absorptionskoeffizient zeigt also einen eindeutigen Gang umgekehrt proportional dem Abstand der Zählrohre. Wegen des bei diesen Messungen unvermeidbar großen statistischen Fehlers kann der genaue Zusammenhang aber nicht angegeben werden.

Man kann nun die Frage aufwerfen, ob beim Durchgang der Ultrastrahlen durch Materie die Streuung oder die wahre Absorption die größere Rolle spielt. Die Versuche haben gezeigt, daß durch Einschieben des Bleiklotzes in Stellung II aus dem

Primärstrahlenbündel von 100 Elektronen 27 verschwinden, demgegenüber geht aus den Versuchen in Stellung III und IV hervor, daß sich seitlich von diesem Bündel $2 \times 12 = 24$ Strahlen wiederfinden. Wenn auch die Genauigkeit solcher Messungen und die unexakte geometrische Definition der Strahlenbündel zwingende Schlüsse nicht zuläßt, so scheint doch die Streuung gegenüber der wahren Absorption zu überwiegen.

§ 8.

Zusammenfassung.

Es wird eine Methode beschrieben, mit der auf graphischem Wege die Koinzidenzen zweier bzw. dreier Zählrohre erfaßt werden.

Bei vorbereitenden Messungen wurden mit Hilfe von zweifachen Koinzidenzen die Absorbierbarkeit und die Richtungsverteilung der Ultraelektronen untersucht.

Durch Messungen mit dreifachen Koinzidenzen konnte gezeigt werden, daß die Ultraelektronen bei ihrem Durchgang durch Materie um einen meßbaren Winkel gestreut werden. Dieser beträgt bei einer Bleischicht von 5 cm Dicke etwa 5°.

Die vorstehenden Untersuchungen wurden in den physikalischen Instituten der Universitäten Kiel und Tübingen ausgeführt.

Herrn Professor Dr. Geiger möchte ich auch hier für die Anregung zu dieser Arbeit und seine stets fördernde Anteilnahme meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Herrn Privatdozent Dr. Gerthsen verdanke ich viel durch sein ständiges Interesse an den Untersuchungen.

Lebenslauf.

Als Sohn des Zahnarztes Dr. phil. Paul Heidecke bin ich Wolfgang Max August Heidecke am 16. Juni 1908 zu Halberstadt geboren. Nach Besuch seiner Vorschule trat ich Ostern 1917 in das staatliche Domgymnasium zu Halberstadt ein und erhielt von ihm Ostern 1926 das Zeugnis der Reife. Dem Studium der Naturwissenschaften und der Mathematik widmete ich mich dann anschließend an den Universitäten Göttingen, Königsberg, Wien, Halle, Kiel und schließlich Tübingen.